

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-336530

(43)Date of publication of application : 25.11.2004

(51)Int.Cl.

H04R 3/12

H04R 1/40

(21)Application number : 2003-131538

(71)Applicant : YAMAHA CORP

(22)Date of filing : 09.05.2003

(72)Inventor : USUI AKIRA

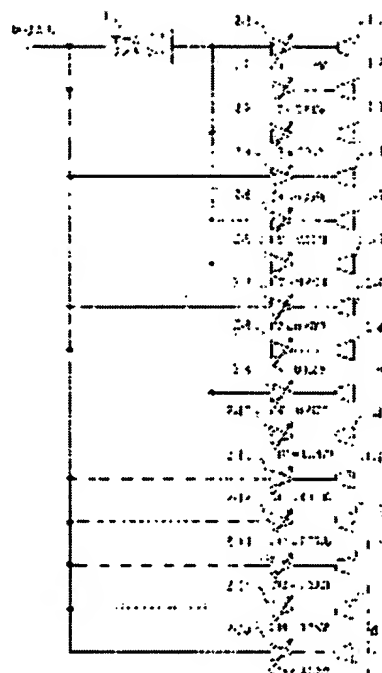
NORO MASAO

(54) ARRAY SPEAKER SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To radiate efficiently a sound while preventing sound radiation characteristics from being beam-shaped and comb-shaped.

SOLUTION: To each of speaker units 1-1 to 1-15 constituting an array speaker system, signals are inputted to each of which weight is added that is effected by absolute values of weighting factors C1 to C15 that are based on a Bessel function, in weighting means 2-1 to 2-15 that are provided corresponding to the speaker units, respectively. Among the weighting means 2-1 to 2-15, to the weighting means whose weighting factor C_i takes on a negative value, the signals are supplied that have passed through an all pass filter 3 by which a phase in a high frequency region turns at an angle of 180° . Consequently, the radiation characteristics of the signals in a high frequency region can be prevented from being beam-shaped and comb-shaped as well as being able to prevent the radiation efficiency of the signals in a low frequency region from being lowered due to outputs of reverse phase signals.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.01.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-336530

(P2004-336530A)

(43) 公開日 平成16年11月25日(2004.11.25)

(51) Int. Cl.⁷

H04R 3/12

H04R 1/40

F1

H04R 3/12

H04R 1/40

Z

310

テーマコード(参考)

5D018

5D020

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号

特願2003-131538(P2003-131538)

(22) 出願日

平成15年5月9日(2003.5.9)

(71) 出願人 000004075

ヤマハ株式会社

静岡県浜松市中沢町10番1号

(74) 代理人 100102635

弁理士 浅見 保男

(74) 代理人 100106459

弁理士 高橋 英生

(74) 代理人 100105500

弁理士 武山 吉孝

(74) 代理人 100103735

弁理士 鈴木 隆盛

(72) 発明者 白井 章

静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

最終頁に続く

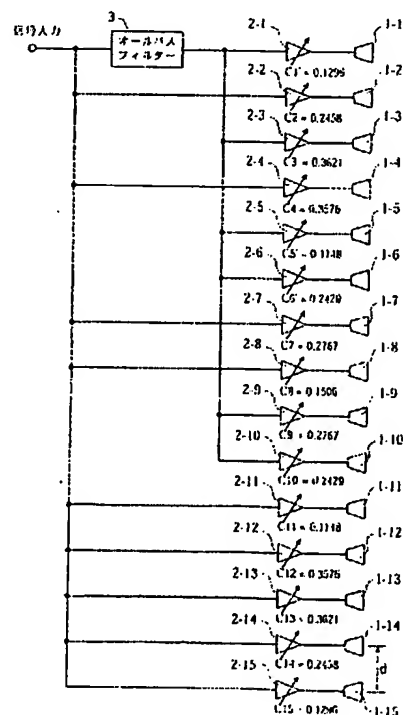
(54) 【発明の名称】 アレースピーカーシステム

(57) 【要約】

【課題】放射特性のビーム化や櫛状化を防止しつつ、効率良く音を放射する。

【解決手段】アレースピーカーを構成する各スピーカーユニット1-1~1-15には、それぞれに対応して設けられた重み付け手段2-1~2-15においてベッセル関数に基づく重み係数C1~C15の絶対値による重みが付加された信号が入力される。重み付け手段2-1~2-15のうち、重み係数Ciが負の値となるものについては、高周波数領域で位相が180度回転するオールパスフィルター3を経由した信号が供給される。これにより、低周波数領域の信号について逆相の信号が出力されて放射効率が低下することを防止するとともに、高周波数領域の信号の放射特性のビーム化や櫛状化を防止できる。

【選択図】 図1



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のスピーカユニットが配列されたアレースピーカシステムであって、
低周波数領域の信号に対しては、前記全スピーカユニットを同相で駆動し、高周波数領域の信号に対しては、前記各スピーカユニットをベッセル関数に基づく重み係数による重みを付加して駆動するようにしたことを特徴とするアレースピーカシステム。

【請求項 2】

複数のスピーカユニットが配列されたアレースピーカシステムであって、
低周波数領域の信号に対しては、前記全スピーカユニットを同相かつ等しいゲインで駆動し、
高周波数領域の信号に対しては、前記各スピーカユニットをベッセル関数に基づく重み係数による重みを付加して駆動するようにしたことを特徴とするアレースピーカシステム。

【請求項 3】

複数のスピーカユニットが配列されたアレースピーカシステムであって、
高周波数領域において位相が 180 度回転するように設定されたオールパスフィルターを有し、
ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となる前記スピーカユニットに対しては、前記オールパスフィルターを経由した信号にその重み係数の絶対値による重みを付加して駆動し、
ベッセル関数に基づく重み係数が負の値とならない前記スピーカユニットに対しては、その重み係数による重みを付加して駆動するようにしたことを特徴とするアレースピーカシステム。

【請求項 4】

複数のスピーカユニットが配列されたアレースピーカシステムであって、
高周波数領域において位相が 180 度回転するように設定されたオールパスフィルターと、
ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となる前記スピーカユニットそれぞれに対応して設けられ、前記オールパスフィルターを経由した信号が入力され、高周波数領域の信号に対しその重み係数の絶対値に対応するゲイン特性を付与する手段と、
ベッセル関数に基づく重み係数が負の値とならない前記スピーカユニットそれぞれに対応して設けられ、高周波数領域の信号に対しその重み係数に対応するゲイン特性を付与する手段と
を有することを特徴とするアレースピーカシステム。

【請求項 5】

前記オールパスフィルターは、前記複数のスピーカユニットの配列の幅に相当する波長に対応する周波数の近傍の周波数において、その位相回転量が 90 度となるように設定されているものであることを特徴とする請求項 3 又は 4 記載のアレースピーカシステム。

【請求項 6】

複数のスピーカユニットが配列されたアレースピーカシステムであって、
入力信号を低周波数領域成分と高周波数領域成分に分割するフィルター手段と、
前記各スピーカユニット対応に設けられ、各スピーカユニット対応に分割された前記入力信号の高周波数領域成分に対し、ベッセル関数に基づく重み係数による重みを付加する重み付け手段と、
前記各スピーカユニット対応に設けられ、前記入力信号の低周波数領域成分と、それぞれ対応する前記重み付け手段によりベッセル関数に基づく重み係数による重みを付加された前記入力信号の高周波数領域成分とを加算して対応するスピーカユニットに出力する手段と
を有することを特徴とするアレースピーカシステム。

【請求項 7】

(3)

前記複数のスピーカユニットは、共通エンクロージャーに取り付けられていることを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載のアレースピーカシステム。

【請求項8】

前記複数のスピーカユニットは、バスレフ形の共通エンクロージャーに取り付けられていることを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載のアレースピーカシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、複数のスピーカユニットが1次元又は2次元のアレー状に配置されるアレースピーカシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】

複数のスピーカを規則正しく並べて音を出すアレースピーカシステムが知られている。このようなアレースピーカシステムにおいては、複数個のスピーカを使うことによる弊害として、音の周波数が高くなるにつれ、放射特性にビーム化や櫛状化（櫛の歯状に拡散する状態）が現れ、それが周波数によって変動することによって、放射中心以外で高音が聞こえなくなったり、聞く場所によって周波数特性が暴れたりといった現象が起こる。

図13は、15個のスピーカユニットを2.5cm間隔で直線状に縦に並べ、各スピーカユニットから同位相で音を放射したときの放射特性のシミュレーション結果を示す図である。この図において、(a)～(e)は、それぞれ、500Hz、1000Hz、5000Hz、10kHz、15kHzにおける水平断面、垂直断面及びスピーカシステムの前面から距離2mの投影面における放射特性を示している。ここで、図中色の白い部分ほど音圧が高いことを示している。

この図に示すように、数kHz以上の周波数において、放射特性のビーム化や櫛状化が顕著となっている。

【0003】

このような現象を回避する為、規則正しく並んだスピーカ列に第1種ベッセル関数に基づく係数列で重み付けを行うことにより、音の放射特性を球面状にする、ベッセルアレーという手法が知られている。また、特許文献1には、簡略化されたベッセルアレーが開示されている。

【0004】

図14は、ベッセルアレーが適用されたアレースピーカシステムの要部構成を示す図である。この図に示したアレースピーカシステムは、15個のスピーカユニットを有するものとされており、11-1～11-15は所定の間隔d（例えば、d=2.5cm）をもって直線状に配列されたスピーカユニット、12-1～12-15はそれぞれ対応するスピーカユニット11-1～11-15に供給される信号に対して重み係数C1～C15による重みを付加する重み付け手段である。なお、重み付け手段12-1～12-15とそれぞれ対応するスピーカユニット11-1～11-15との間にはそれぞれパワーアンプが挿入されるのが通常であるが、本明細書においては図示を省略することとする。また、前記重み付け手段12-1～12-15としては、重み係数に対応するゲインを有する増幅器などを用いることができる。

【0005】

ここで、前記重み係数C1～C15は、次式で定義される第1種ベッセル関数により導き出される。

【数1】

$$J_n(x) = \left(\frac{x}{2}\right)^n \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (x/2)^{2k}}{k! \Gamma(n+1-k+1)}$$

(4)

この例のように15個のスピーカユニットを使用する場合には、例えば、 $J_{-7}(x) \sim J_7(x)$ の値が使用される。ここで、 $x=6.0$ として導き出すとした場合には、 $C1=J_{-7}(6)=-0.1296$ 、 $C2=J_{-6}(6)=0.2458$ 、 $C3=J_{-5}(6)=-0.3621$ 、 $C4=J_{-4}(6)=0.3576$ 、 $C5=J_{-3}(6)=-0.1148$ 、 $C6=J_{-2}(6)=-0.2429$ 、 $C7=J_{-1}(6)=0.2767$ 、 $C8=J_0(6)=0.1506$ 、 $C9=J_1(6)=-0.2767$ 、 $C10=J_2(6)=-0.2429$ 、 $C11=J_3(6)=0.1148$ 、 $C12=J_4(6)=0.3576$ 、 $C13=J_5(6)=0.3621$ 、 $C14=J_6(6)=0.2458$ 、 $C15=J_7(6)=0.1296$ である。

【0006】

図15は、スピーカユニット11-1～11-15を、上記第1種ベッセル関数に基づく重み係数 $C1 \sim C15$ による重みを付加して駆動したときの放射特性のシミュレーション結果を示す図であり、(a)～(e)は、それぞれ、500Hz、1000Hz、5000Hz、10kHz、15kHzにおける水平断面、垂直断面及びスピーカシステムの前面から距離2mの投影面における放射特性を示している。

図13と図15との比較から明らかなように、ベッセルアレーの場合には、放射特性のビーム化や櫛状化は見られず、球面特性になっていることがわかる。このように、各スピーカユニットをベッセル関数に基づく重み係数で重み付けして駆動することは放射特性のビーム化、櫛状化を防止する上で有効な手法である。

【0007】

【特許文献1】

特公平1-25480号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

上述のように、ベッセルアレーによれば、放射特性のビーム化や櫛状化を防止することができる。

しかし、ベッセル関数に基づく重み係数列($C1 \sim C15$)には負の値をとるものも含まれているために、低周波数領域での放射効率が悪くなり、低音再生が働かなくなるという問題点がある。このことは、複数のスピーカユニットが共通エンクロージャー、あるいはバスレフ形の共通エンクロージャーに取り付けられたアレースピーカシステムにおいては、特に悪い結果をもたらす。

そこで、本発明は、低周波数領域から高周波数領域まで、放射特性のビーム化や櫛状化を防止しつつ、効率良く音を放射することができるアレースピーカシステムを提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明のアレースピーカシステムは、複数のスピーカユニットが配列されたアレースピーカシステムであって、低周波数領域の信号に対しては、前記全スピーカユニットを同相で駆動し、高周波数領域の信号に対しては、前記各スピーカユニットをベッセル関数に基づく重み係数による重みを付加して駆動するようにしたものである。

あるいは、前記低周波数領域の信号に対しては、前記全スピーカユニットを同相かつ等しいゲインで駆動するようにしたものである。

【0010】

さらに、本発明の他のアレースピーカシステムは、複数のスピーカユニットが配列されたアレースピーカシステムであって、高周波数領域において位相が180度回転するように設定されたオールパスフィルターを有し、ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となる前記スピーカユニットに対しては、前記オールパスフィルターを経由した信号にその重み係数の絶対値による重みを付加して駆動し、ベッセル関数に基づく重み係数が負の値とならない前記スピーカユニットに対しては、その重み係数による重みを付加して

(5)

駆動するようにしたものである。

さらに、本発明のさらに他のアレースピーカーシステムは、複数のスピーカーユニットが配列されたアレースピーカーシステムであって、高周波数領域において位相が180度回転するように設定されたオールパスフィルターと、ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となる前記スピーカーユニットそれぞれに対応して設けられ、前記オールパスフィルターを経由した信号が入力され、高周波数領域の信号に対しその重み係数の絶対値に対応するゲイン特性を付与する手段と、ベッセル関数に基づく重み係数が負の値とならない前記スピーカーユニットそれぞれに対応して設けられ、高周波数領域の信号に対しその重み係数に対応するゲイン特性を付与する手段とを有するものである。

ここで、前記オールパスフィルターは、前記複数のスピーカーユニットの配列の幅に相当する波長に対応する周波数の近傍の周波数において、その位相回転量が90度となるように設定されているものであるとより良い。

【0011】

さらにまた、本発明のさらに他のアレースピーカーシステムは、複数のスピーカーユニットが配列されたアレースピーカーシステムであって、入力信号を低周波数領域成分と高周波数領域成分に分割するフィルター手段と、前記各スピーカーユニット対応に設けられ、各スピーカーユニット対応に分割された前記入力信号の高周波数領域成分に対し、ベッセル関数に基づく重み係数による重みを付加する重み付け手段と、前記各スピーカーユニット対応に設けられ、前記入力信号の低周波数領域成分と、それぞれ対応する前記重み付け手段によりベッセル関数に基づく重み係数による重みを付加された前記入力信号の高周波数領域成分とを加算して対応するスピーカーユニットに出力する手段とを有するものである。

さらにまた、上記各アレースピーカーシステムにおいて、前記複数のスピーカーユニットは、共通エンクロージャー又はバスレフ形の共通エンクロージャーに取り付けられているものである。

【0012】

【発明の実施の形態】

まず、本発明のアレースピーカーシステムの基本的な原理について説明する。前記図13に示した放射特性からわかるように、全スピーカーユニットから同位相で音を放射したときに、ベッセル関数に基づく重み係数による重みを付与しなくても、低周波数領域（図13の場合は1kHz以下）では、音のビーム化や櫛状化は見られない。そこで、本発明においては、音のビーム化や櫛状化が問題とならない低周波数領域では、各スピーカーユニットを正相で駆動することにより放射効率の低下を防止し、音のビーム化、櫛状化が発生する高周波数領域については、ベッセル関数に基づく重み係数による重みを付加して駆動する。これにより、低周波数領域から高周波数領域までビーム化、櫛状化を防ぎながら、効率良く音を放射することが出来るようになる。

以下、低周波数領域ではスピーカーユニットを正相で駆動し、高周波数領域においてはベッセル関数に基づく重み係数を付与して駆動するようにした本発明のアレースピーカーシステムの各実施の形態について説明する。

【0013】

図1は、本発明のアレースピーカーシステムの第1の実施の形態の要部構成を示す図である。なお、以下の説明では、前述と同様に15個のスピーカーユニットを有するアレースピーカーシステムを例にとって説明することとし、ベッセル関数に基づく重み係数が前述したC1～C15であるものとして説明するが、本発明は、複数個（例えば、5個以上）のスピーカーユニットを有するアレースピーカーシステムに対して同様に適用することができ、重み係数も他の値であってもかまわない。

この実施の形態は、各スピーカーユニットを低周波数領域では正相で駆動し、高周波数領域ではベッセル関数に基づく重み係数で重み付けして駆動するために、高周波数領域になると位相が180°回転するオールパスフィルターを用いるようにしたものである。

【0014】

(6)

図1において、1-1～1-15は所定の間隔 d （例えば、 $d=2.5\text{ cm}$ ）をもって配列されたスピーカユニット、2-1～2-15はそれぞれ対応するスピーカユニット1-1～1-15に供給される信号に第1種ベッセル関数に基づく重み係数による重みを付加する重み付け手段であり、それぞれ前述の1-1～1-15及び1-2～1-2-15に対応するものである。ただし、この重み付け手段2-1～2-15における重み係数は、前記図14の場合とは異なり、その絶対値とされている。すなわち、前記図14の場合には、 C_1 、 C_3 、 C_5 、 C_6 、 C_9 及び C_{10} は負の値であったが、図1における重み付け手段2-1、2-3、2-5、2-6、2-9及び2-10においては、それぞれの重み係数の絶対値 C_1' 、 C_3' 、 C_5' 、 C_6' 、 C_9' 及び C_{10}' による重みが付与される。

【0015】

また、3は、振幅特性が対象となる全周波数帯域にわたり平坦で、位相特性が、低周波数領域では位相回転が 0° で高周波数になるにしたがって 180° 回転して逆相になるように設定されたオールパスフィルターである。

図2の(a)に前記オールパスフィルター3の一構成例を示し、(b)にその位相特性を示す。この図に示すように、このオールパスフィルター3は、低周波数においては位相回転量が 0° であり、周波数が高くなるにつれて位相回転量が徐々に大きくなって約 700 Hz で位相回転量が 90° となり、 10 kHz より高い周波数で 180° となる位相特性を有している。

【0016】

図1において、信号入力端からの入力信号は、前記ベッセル関数に基づく重み係数が正の値である重み付け手段2-2、2-4、2-7、2-8、2-11、2-12、2-13、2-14及び2-15に対しては直接に入力され、前記重み付け手段2-1、2-3、2-5、2-6、2-9及び2-10に対しては、前記オールパスフィルター3を経由した信号が入力されるようになされている。そして、それぞれの重み付け手段2-1～2-15において、それぞれ対応する重み係数により重み付けされてスピーカユニット1-1～1-15に出力される。

すなわち、前記ベッセル関数に基づく重み係数が正の値であるスピーカユニット（1-2、1-4、1-7、1-8、1-11～1-15）に対しては、それぞれの重み付け手段で対応する重みが付与された信号が出力される。また、前記ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となるスピーカユニット（1-1、1-3、1-5、1-6、1-9及び1-10）に対してそれぞれの重み付け手段で付与される重みは、前記オールパスフィルター3による位相回転量が 90° を超えない低周波数領域の信号に対しては、前記ベッセル関数に基づく重み係数が正の値であるスピーカユニットに付与される重みと同相（同じ符号）となる。一方、前記オールパスフィルター3による位相回転量が 90° を超える高周波数領域においては、前記ベッセル関数に基づく重み係数が正の値であるスピーカユニットに付与される重みとは逆相（逆の符号）となる。

これにより、高周波数領域においては、ベッセル係数に基づく重み係数が負の値となるスピーカユニットに対し負の重み係数による重みが付与されることとなり、ベッセル関数に基づく重み係数が利用されることとなる。一方、低周波数領域においてはすべてのスピーカユニットから同相で信号が出力されることとなり、低音が十分に再生出力されることとなる。

【0017】

図3は、この実施の形態における放射特性のシミュレーション結果を示す図であを示す図であり、(a)～(e)は、それぞれ、 500 Hz 、 1000 Hz 、 5000 Hz 、 10 kHz 、 15 kHz における水平断面、垂直断面及びスピーカシステムの前面から距離 2 m の投影面における放射特性を示している。

この図と前記図13とを比較すると明らかなように、本実施の形態において、放射特性のビーム化や櫛状化が十分に防止されていることがわかる。

【0018】

(7)

なお、前記オールパスフィルター3は、前記図2に示したようなアナログフィルターに限られることなく、前後にA/Dコンバーター、D/Aコンバーターを有するデジタルフィルターによっても構成することが可能である。

例えば、図2に示したアナログオールパスフィルター3の伝達関数 $H(S) = (1 - CRS) / (1 + CRS)$ を $S = 2/T * (1 - Z^{-1}) / (1 + Z^{-1})$ と置く双1次変換によってZ領域へ変換すると、 $H(Z) = ((T - 2CR) + (T + 2CR)Z^{-1}) / ((T + 2CR) + (T - 2CR)Z^{-1})$ となり、 $C = 0.047 \mu F$ 、 $R = 4.7 k\Omega$ 、サンプリング周波数 $f_s = 48 kHz$ とすると、 $H(Z) = (-420 * 10^{-1} + (460 * 10^{-1})Z^{-1}) / (460 * 10^{-1} + (-420 * 10^{-1})Z^{-1})$ となる。

このデジタルフィルターは、図4の(a)に示すIIRフィルターで構成することができ、図4の(b)に示す位相特性を有する。

【0019】

さて、上述したベッセル関数に基づく重み係数は各スピーカユニットで異なり、例えば上述したC1～C15の場合、最大値であるC3＝－0.3621に対して最小値のC5＝－0.1148では約3.15倍ゲインが異なっている。したがって、ベッセル関数に基づく係数による重み付けが必要無い低周波数領域の音の変換効率も同時に落ちてしまうこととなる。

そこで、このような不都合を防止するようにした本発明の他の実施の形態について、図5～図7を参照して説明する。

この実施の形態は、前記重み付け手段として、低周波数領域におけるゲインは等しく、高周波数領域になるにつれて前述したベッセル関数に基づく重み係数に対応したゲインを有するようになされたフィルターを用いるものである。すなわち、基準となるスピーカユニットを定め、この基準となるスピーカユニットについては、平坦なゲイン特性を与える。そして、他のスピーカユニットについては、低周波数領域のゲインは該基準となるスピーカユニットと等しく、高周波数領域については前記基準となるスピーカユニットの重み係数とそのスピーカユニットの重み係数との比に対応したゲインとなるゲイン特性を有するフィルターを重み付け手段として使用する。なお、ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となるスピーカユニットに対してはオールパスフィルター3の出力が入力されるようにする点は前述した実施の形態と同様である。

【0020】

図5において、1-1～1-15は前述したスピーカユニット、3は前述したオールパスフィルター、4-1～4-15は、各スピーカユニット1-1～1-15に対して重みを付加するための回路である。ここで、この例では、スピーカユニット1-1（係数C1'＝0.1296）を基準となるスピーカユニットとしている。係数C15＝C1'であるため、スピーカユニット1-15も基準となる。したがって、4-1と4-15は、それぞれ基準となるスピーカユニット1-1及び1-15に信号を供給する周波数特性が平坦なアンプである。

また、スピーカユニット1-2～1-4、1-6～1-10、1-12～1-14に対応する重み係数の絶対値は、前記基準となるスピーカユニットの重み係数の絶対値0.1296よりも大きい値であるため、4-2、4-3、4-4、4-6、4-7、4-8、4-9、4-10、4-12、4-13及び4-14はゲイン特性が低周波数領域では平坦であり、高周波数領域では前記基準となる係数C1（C15）とのその係数との比に対応してゲインが上昇するシェルビングタイプのハイパスフィルターである。

さらに、スピーカユニット1-5と1-11に対応する重み係数の絶対値はいずれも0.1148であり、前記基準となる重み係数0.1296よりも小さいため、4-5及び4-11はゲイン特性が低周波数領域では平坦であり、高周波数領域ではその重み係数と前記基準となる係数C1との比に対応する分だけ減少するシェルビングタイプのハイカットフィルターである。

【0021】

(8)

図6の(a)は前記アンプ4-1及び4-15の構成例を示す図、図6の(b)は前記ハイパスフィルター4-2、4-3、4-4、4-6、4-7、4-8、4-9、4-10、4-12、4-13及び4-14の構成例を示す図、図6の(c)は前記ハイカットフィルター4-5及び4-11の構成例を示す図である。

(a)～(c)に示す各回路において、直流ゲイン(すなわち、低周波数領域におけるゲイン)は抵抗 R_2 と R_1 の比(R_2/R_1)により決定され、前記各回路4-1～4-15において、抵抗 R_1 として同じ値のものが使用されており、また、抵抗 R_2 も同じの値のものとされている。したがって、各スピーカーユニット1-1～1-15に供給される信号の低周波数領域のゲインは同一となる。具体例を挙げれば、 $R_1=33\text{ k}\Omega$ 、 $R_2=47\text{ k}\Omega$ とされており、直流ゲインは、 $20\log(47/33)=3.07\text{ dB}$ となる。

【0022】

また、(b)ハイパスフィルター及び(c)ハイカットフィルターにおける高周波数領域のゲインは、それぞれにおいて対応する重み係数の絶対値と前記基準とされている重み係数値(0.1296)との比に対応したゲインとなるよう、抵抗 R_3 とコンデンサ C の値が選択される。

例えば、ハイパスフィルター4-2については、重み係数 $C_2=0.2458$ であるため、高周波数領域のゲインが前記基準となるアンプ4-1に対して $20\log(0.2458/0.1296)=5.56\text{ dB}$ だけ高い値($3.07+5.56=8.63\text{ dB}$)となるように、抵抗 $R_3=36\text{ k}\Omega$ 、 $C=3300\text{ pF}$ と決定される。同様に、ハイパスフィルター4-3については、高周波数のゲインが $20\log(0.3621/0.1296)+3.07=12.0\text{ dB}$ となるように、 $R_3=18\text{ k}\Omega$ 、 $C=5600\text{ pF}$ とされる。また、4-4については、ゲインが $20\log(0.3576/0.1296)+3.07=11.9\text{ dB}$ となり4-3とほぼ等しいため、4-3と同じ値、 $R_3=18\text{ k}\Omega$ 、 $C=5600\text{ pF}$ とされる。以下、同様に、4-6については $R_3=36\text{ k}\Omega$ 、 $C=3300\text{ pF}$ 、4-7については $R_3=30\text{ k}\Omega$ 、 $C=3900\text{ pF}$ 、4-8については $R_3=220\text{ k}\Omega$ 、 $C=1000\text{ pF}$ 、4-9については $R_3=30\text{ k}\Omega$ 、 $C=3900\text{ pF}$ 、4-10については $R_3=36\text{ k}\Omega$ 、 $C=3300\text{ pF}$ 、4-12については $R_3=18\text{ k}\Omega$ 、 $C=5600\text{ pF}$ 、4-13については $R_3=18\text{ k}\Omega$ 、 $C=5600\text{ pF}$ 、4-14については $R_3=36\text{ k}\Omega$ 、 $C=3300\text{ pF}$ とされる。

さらに、ハイカットフィルター4-5と4-11については、重み係数の絶対値がともに0.1148であり、高周波数領域のゲインが前記基準となるアンプ4-1に対して $20\log(0.1148/0.1296)=-1.05\text{ dB}$ の差を有する $3.07-1.05=2.02\text{ dB}$ となるように、図6(c)における抵抗 R_3 とコンデンサ C の値が $R_3=360\text{ k}\Omega$ 、 $C=470\text{ pF}$ と決定される。

【0023】

図7は、このようにして決定された前記4-1～4-15の各回路のゲイン特性を示す図である。この図に示すように、低周波数領域では4-1～4-15の全ての回路におけるゲインが等しくかつ平坦であり、高周波数領域でそれぞれの重み係数に対応するゲインとなっていることがわかる。

このように、この実施の形態によれば、放射特性のビーム化や櫛状化が問題とならない低周波数領域においては、各スピーカーユニットに同相で、かつ等しいゲインの信号が供給され、周波数が高くなるにしたがってベッセル関数に基づく重みが付与された信号が供給される。したがって、低音の放射効率が低下することを完全に防止することができる。とともに、放射特性のビーム化や櫛状化を防止することができる。

なお、上記においては、スピーカーユニット1-1を基準となるものと選択したが、これに限られることはなく、任意のスピーカーユニットを基準に選択することができる。また、ハイパスフィルターやハイカットフィルターをデジタルフィルターにより構成することもできる。

【0024】

(9)

次に、上記図 5～図 7 に示した実施の形態と同様に、低周波数領域のゲインを等しくし、高周波数領域においてベッセル関数に基づく係数で重み付けをするようにした本発明のさらに他の実施の形態について、図 8～図 10 を参照して説明する。

この実施の形態は、例えば、前記図 2 に示したオールパスフィルター 3 において、オペアンプの出力端と反転入力との間に接続されている帰還抵抗を他の抵抗と異なる値に設定することにより、ゲインに周波数特性を持たせるようにする。そして、このフィルターを前記ベッセル関数に基づく重み係数が負の値をとるスピーカユニットに対する重み付け回路として用いることにより、ベッセル関数に基づく重み係数が負の値をとるスピーカユニットに共通に設けられたオールパスフィルター 3 を省略するものである。

【0025】

このようなフィルターの回路を図 8 の (a) に示す。

例えば、上述の重み係数 C1～C15 の場合、その絶対値が最大値 0.3621 となる C3、C13 を基準として選択してこれを「1」に正規化する。このとき、例えば、C5＝－0.1148 は、その絶対値が $1/3.15$ ($=0.1148/0.3621$) となるので、スピーカユニット 1～5 に対する信号は、そのゲインがスピーカユニット 1～3 に対して $20 \log(1/3.15) = -9.97 \text{ dB}$ となるように調整すれば良い。

図 8 の (a) に示したフィルターの伝達関数は、 $H(S) = (1 - CR_2 S) / (1 + CR_1 S)$ となり、 $C = 0.1 \mu\text{F}$ 、 $R_1 = 4.7 \text{ k}\Omega$ 、 $R_2 = 1.5 \text{ k}\Omega$ とすることにより、図 8 の (b) に示すゲイン特性及び (c) に示す位相特性となる。すなわち、直流ゲインが 0 dB であり、高周波数において -9.97 dB となるゲイン特性と、低周波数において位相回転が 0° であり、高周波数になるにしたがって 180° 位相が回転する位相特性を有する。なお、その他の重み係数についても、同様にしてそれぞれのゲイン特性に対応した回路定数を決定することができる。

【0026】

また、重み係数が正となるスピーカユニットについては、その重み係数と前記基準となる重み係数との比に応じたゲイン特性を有するフィルターを用いればよく、このフィルターは、図 9 の (a) に示す回路を用いて実現することができる。

例えば、C11＝0.1148 に対するフィルターを例にとると、図 9 (a) の左側のフィルターの伝達関数は、 $H(S) = -1 * R_2 / R_1 * (1 + CR_3 S) / (1 + (CR_2 + CR_3) S)$ となり、 $R_1 = 4.7 \text{ k}\Omega$ 、 $R_2 = 4.7 \text{ k}\Omega$ 、 $R_3 = 2.7 \text{ k}\Omega$ 、 $C = 0.1 \mu\text{F}$ と設定すると、図 9 の (b) に示すゲイン特性及び (c) に示す位相特性となる。すなわち、直流ゲインが 0 dB であり、周波数が高くなるにつれ -9.97 dB となるゲイン特性となる。ここで、(c) の位相特性に示すように、位相は最大で約 30 度ほど回転するが全体の特性としては問題のないレベルである。

また、他の正の重み係数に対応するフィルターについても同様に回路定数を決定することができる。

【0027】

図 10 は、前記図 8 に示したフィルターと前記図 9 に示したフィルターを用いて構成した実施の形態の一構成例を示す図である。この実施の形態ではベッセル関数に基づく重み係数のうち最も絶対値が大きい C3 と C13 を基準とし、重み係数が負の値であるスピーカユニット 1～3 に対しては前記図 2 に示したような高周波数領域で位相が反転するオールパスフィルター 5～3 を介して信号を供給し、重み係数が正の値であるスピーカユニット 1～13 に対してはゲインが 1 であるアンプ 5～13 を介して（あるいはアンプ 5～13 を設けることなく）信号を供給する。

そして、その他のスピーカユニットのうち、重み係数が負の値となるスピーカユニット（1～1、1～5、1～6、1～9 及び 1～10）に対しては、前記基準となる係数の絶対値 ($=0.3621$) とそのスピーカユニットに対して付与すべき重みの係数の絶対値との比に対応した高周波数領域のゲインを有する前記図 8 に示したフィルターを介して信号を供給する。

(10)

一方、その他のスピーカーユニットのうち、重み係数が正の値となるスピーカーユニット（1-2, 1-4, 1-7, 1-8, 1-11, 1-12, 1-14及び1-15）に対しては、前記基準となる係数の絶対値とそのスピーカーユニットに対して付与すべき重みの係数との比に対応した高周波数領域のゲインを有する前記図9に示したフィルターを介して信号を供給する。

【0028】

このように、この実施の形態によっても、放射特性のビーム化や櫛状化が問題とならない低周波数領域においては、各スピーカーユニットに同相で、かつ等しいゲインの信号が供給され、周波数が高くなるにしたがってベッセル関数に基づく重みが付与された信号が供給される。したがって、低音の放射効率が低下することを完全に防止することができるとともに、放射特性のビーム化や櫛状化を防止することができる。また、オールパスフィルターを省略することができる。

なお、上記においては、アナログフィルターを用いるものとして説明したが、アナログフィルターに限った話ではなく、前記図4の場合と同様に、S Z変換（例えば双1次変換）等で変換されたデジタルフィルターで実現することもできる。また、基準とするスピーカーユニットも任意に選択することができる。

【0029】

ここで、前記オールパスフィルターや前記図8に示したフィルターにおける、位相回転の中心周波数（位相回転量が 90° となる周波数）について検討する。例えば、上述したシミュレーションに関して言えば、各スピーカーユニット間の間隔 d は、 $d=2.5\text{ cm}$ とされ、15個のスピーカーユニットを並べたものであった。したがって、15個のスピーカーユニットからなるスピーカー列の幅は、 $35\text{ cm} (=2.5 \times 14)$ になる。音速を 340 m/sec でシミュレーションすると、スピーカー幅 35 cm が1波長となる周波数は、 $34000/35=971\text{ Hz}$ となる。

【0030】

図11は、15個のスピーカーユニットをその重み付けを全て‘1’として出力したシミュレーション結果を示す図である。この図において、(a)、(b)、(c)及び(d)は、それぞれ、 900 Hz 、 1000 Hz 、 1200 Hz 及び 1500 Hz における放射特性を示す。

この図から、ほぼ、スピーカーユニット列の幅の波長を有する周波数（ 1000 Hz 程度）から音のビーム化が顕著になっていることがわかる。そこで、前記オールパスフィルターあるいは前記図8に示したフィルターの位相回転の中心周波数（位相が 90° 度回転する周波数）をスピーカーユニット列の幅の波長に持って来るとその周波数以上でベッセル関数に基づく重み係数での重み付けが効果を表し始め、良い結果を生むことが期待できる。

このように、オールパスフィルターの位相回転の中心周波数（ 90° ）を、アレースピーカーシステムのスピーカーユニット列の幅の波長を持つ周波数付近に設定するのが好適である。

【0031】

以上説明した実施の形態は、アナログもしくはデジタルによるオールパスフィルター（又は図8のフィルター）を用いるものであったが、本発明は、他の手法によっても実現することができる。

図12は、オールパスフィルターを用いない本発明のさらに他の実施の形態の構成を示すブロック図である。

この図において、1-1～1-15は前述と同様のスピーカーユニット、6は入力信号から低周波数領域の信号を出力するローパスフィルター、7は入力信号から高周波数領域の信号を出力するハイパスフィルター、8-1～8-15は各スピーカーユニット1-1～1-15にそれぞれ対応して設けられ、前記ハイパスフィルター7を通過してきた高周波数領域の信号に対して対応するベッセル関数に基づく重み係数 $C_1 \sim C_{15}$ により重みを付与する重み付け手段、9-1～9-15は、前記各スピーカーユニット1-1～1-15にそれぞれ対応して設けられ、前記ローパスフィルター6を通過してきた低周波数領域

(11)

の信号（それぞれ、ゲイン「1」）と前記重み付け手段8-1～8-15によりベッセル関数に基づく重みを付加された高周波数領域の信号とを加算して対応するスピーカユニット1-1～1-15に出力する加算器である。ここで、前記ローパスフィルター6と前記ハイパスフィルター7は例えばカットオフ周波数が等しくされており、入力信号を低周波数領域と高周波数領域とに2分割するものである。なお、これらのフィルター6、7は、アナログフィルター又はデジタルフィルターのいずれによっても構成することができる。

【0032】

このように構成された本実施の形態において、所定の周波数、例えば、前述したスピーカユニット列の幅の波長を有する周波数により、入力信号を低周波数領域の信号と高周波数領域の信号とに分割し、低周波数領域の信号に関してはそのまま全てのスピーカに対してゲイン「1」で重み付けし、高周波数領域に関してはベッセル関数に基づく重み係数によって重み付けを行い、これらを加算して出力する。これによって、前述したオールパスフィルターを用いた各実施の形態と同様に、低域では十分なゲインを確保すると同時に、高域でのビーム化、櫛状化を同時に防止することができる。

【0033】

なお、以上の説明においては、15個のスピーカユニットを用いる場合を例にとって説明したが、本発明は、5個以上のスピーカユニットを有するアレースピーカシステムに対して全く同様に適用することができる。また、ベッセル関数に基づく重み係数の値についても、上述した例に限られることはない。

【0034】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明のアレースピーカシステムによれば、低周波数領域では各スピーカユニットを正相で駆動しているため、ベッセル関数に基づく重み係数の負の値による逆相成分により放射効率の低下を防止することができるとともに、高周波数領域ではベッセル関数に基づく重み係数より重み付けをして駆動するようにしているため音のビーム化や櫛状化を防止することができる。したがって、低周波数領域から高周波数領域まで、放射特性のビーム化や櫛状化を防止しつつ、効率良く音を球面状に放射することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のアレースピーカシステムの一実施の形態の要部構成を示す図である。

【図2】（a）は前記オールパスフィルター3の構成例を示す図であり、（b）はその位相特性を示す図である。

【図3】図1の実施の形態における放射特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図4】（a）はIIRデジタルオールパスフィルターの構成例を示す図であり、（b）はその位相特性を示す図である。

【図5】本発明のアレースピーカシステムの他の実施の形態の要部構成を示す図である。

【図6】図5における各構成要素の具体的な構成例を示す図であり、（a）はアンプ、（b）はシェルビングタイプのハイパスフィルター、（c）はシェルビングタイプのハイカットフィルターの構成例を示す図である。

【図7】図5における各回路のゲイン特性を示す図である。

【図8】本発明のアレースピーカシステムのさらに他の実施の形態に用いられるフィルターを示す図であり、（a）は構成、（b）はゲイン特性、（c）は位相特性を示す図である。

【図9】本発明のアレースピーカシステムのさらに他の実施の形態に用いられる他のフィルターを示す図であり、（a）は構成、（b）はゲイン特性、（c）は位相特性を示す図である。

【図10】図8及び図9のフィルターを用いる本発明のアレースピーカシステムのさらに他の実施の形態の構成を示す図である。

(12)

【図11】各スピーカーユニットから重み付けを'1'として出力したときのシミュレーション結果を示す図である。

【図12】本発明のアレースピーカーシステムのさらに他の実施の形態の構成を示す図である。

【図13】各スピーカーユニットから重み付けを'1'として出力したときのシミュレーション結果を示す図である。

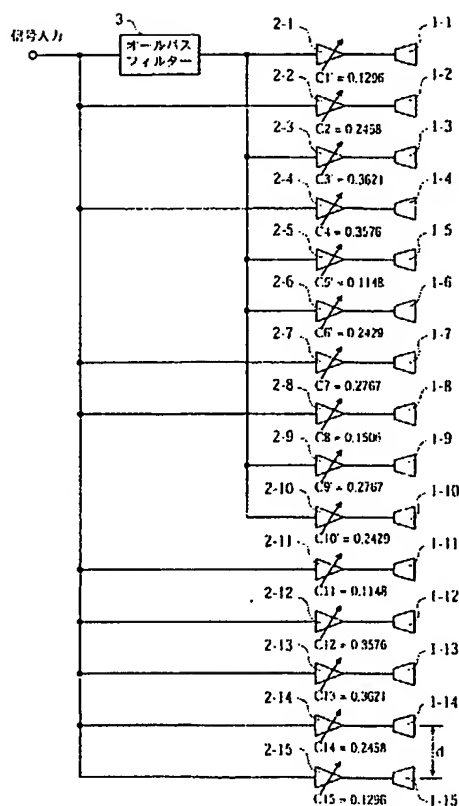
【図14】ベッセルアレーが適用されたアレースピーカーシステムの要部構成を示す図である。

【図15】ベッセルアレーの放射特性を示す図である。

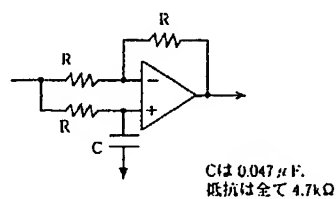
【符号の説明】

1-1～1-15：スピーカーユニット、2-1～2-15：重み付け手段、3：オールパスフィルター、4-1, 4-15：アンプ、4-2～4-14：フィルター、5-1～5-12, 5-14, 5-15：フィルター、6：ローパスフィルター、7：ハイパスフィルター、8-1～8-15：重み付け手段、9-1～9-15：加算器

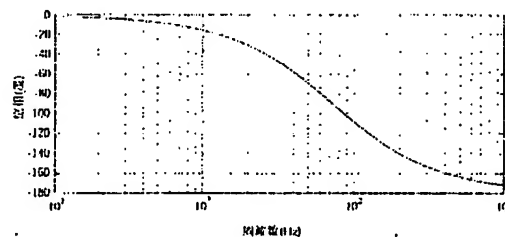
【図1】



【図2】

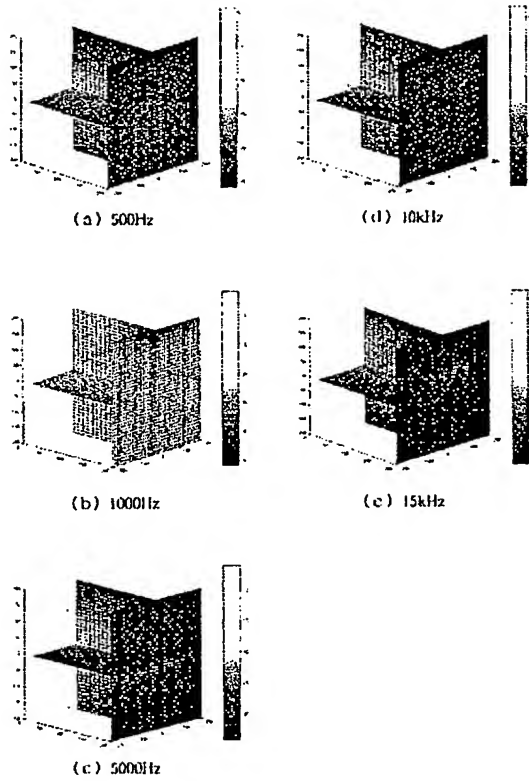


(a)



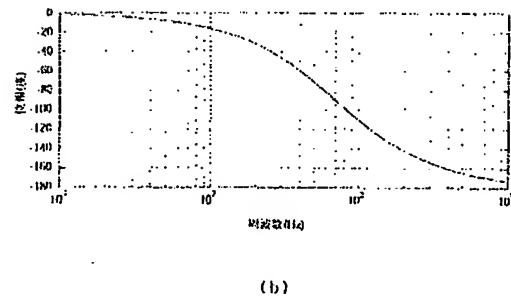
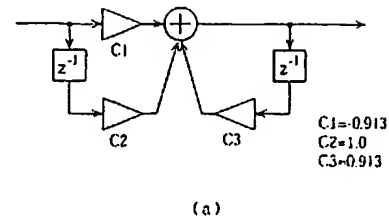
(b)

【図3】

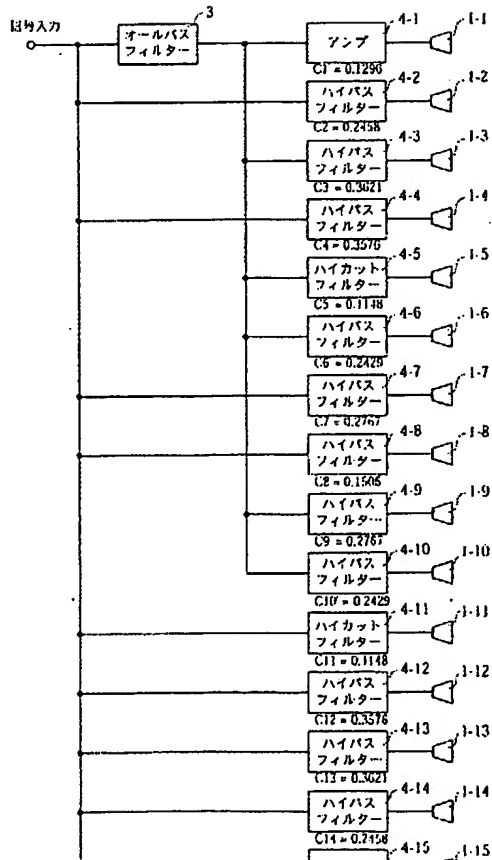


(13)

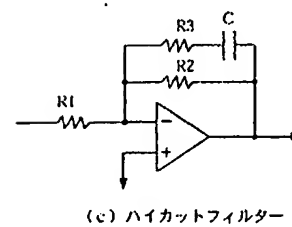
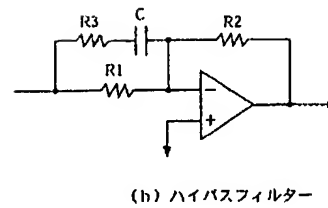
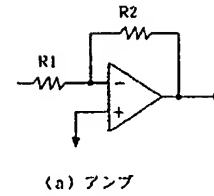
【図4】



【図5】

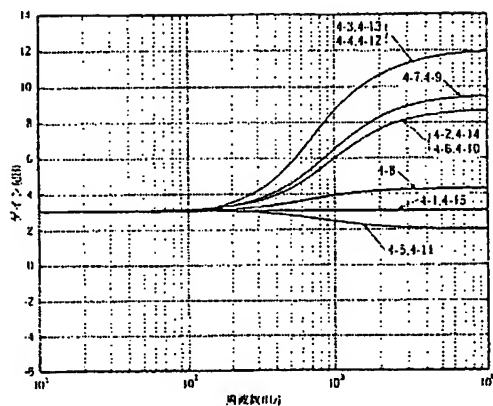


【図6】

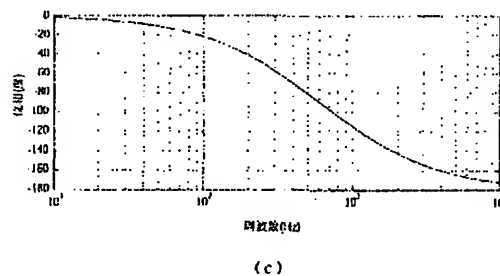
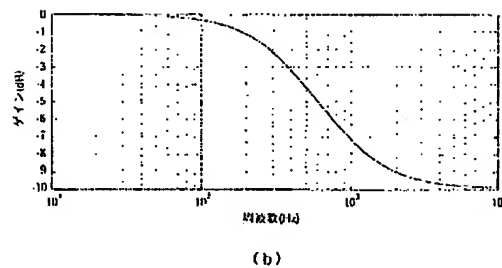
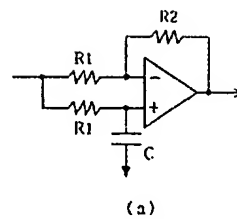


(14)

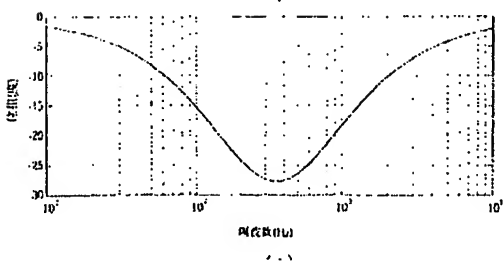
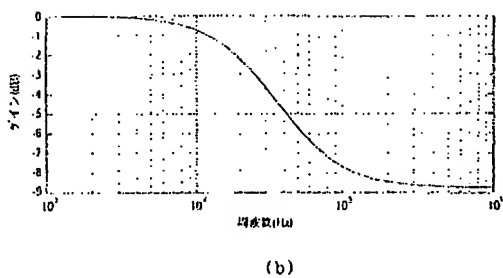
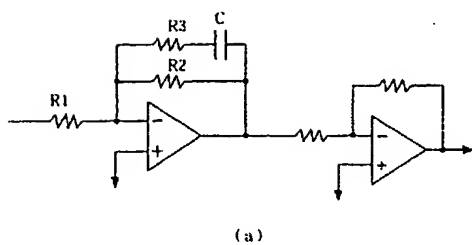
【図7】



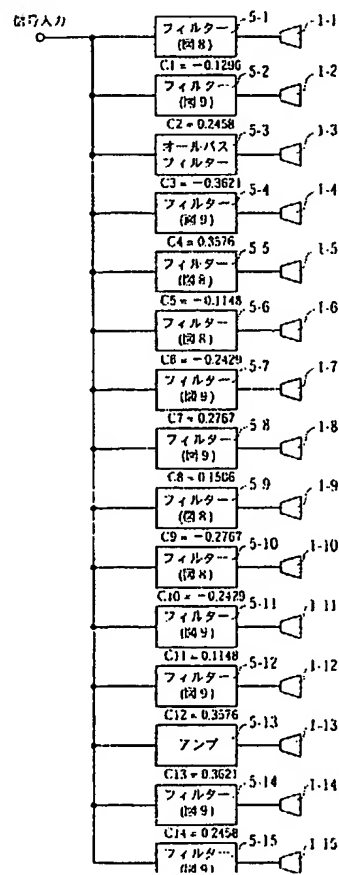
【図8】



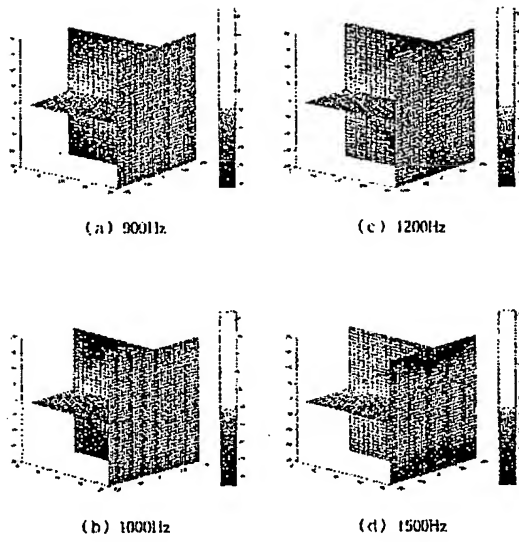
【図9】



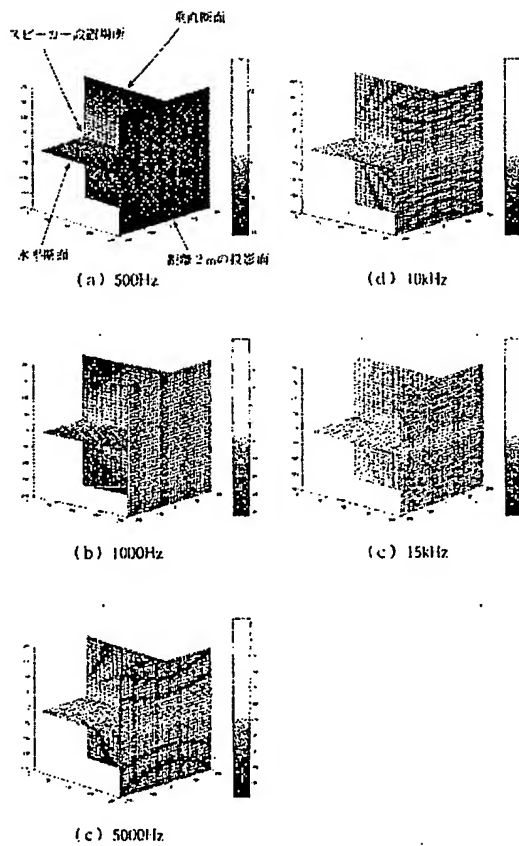
【図10】



【図11】

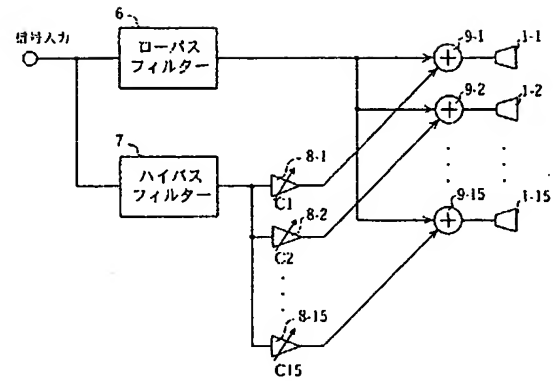


【図13】

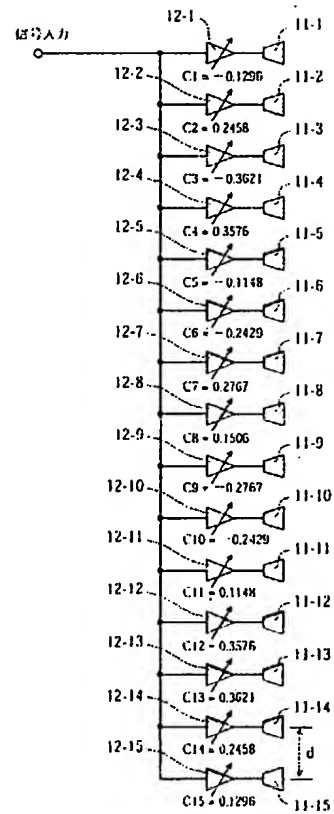


(15)

【図12】

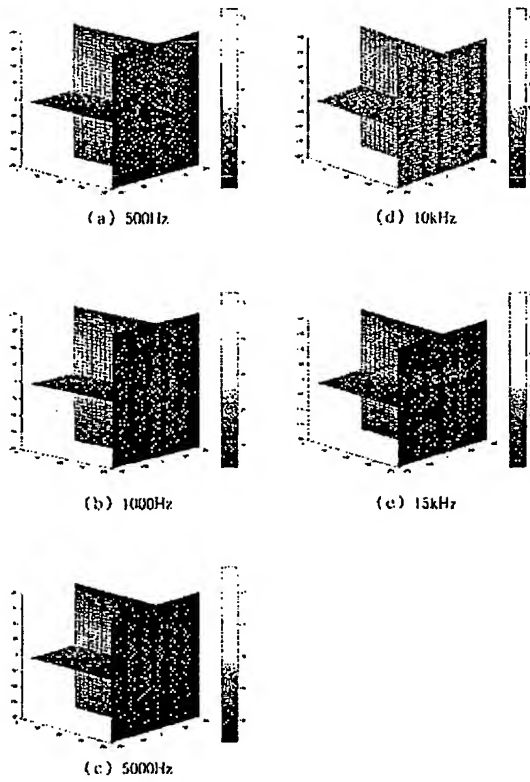


【図14】



(16)

【図15】



(17)

フロントページの続き

(72)発明者 野呂 正夫

静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

Fターム(参考) 5D018 AF21

5D020 AC01 AD00